



高效率智慧化LED光引擎封裝技術

The Package Technology and Application of Smart LED Light Engine

徐可芳 K. F. Hsu¹、林志偉 C. W. Lin³、黃忠民 J. M. Hwang⁴
吳擇序 T. H. Wu²、王玫丹 M. T. Wang³、李麗玲 L. L. Lee⁵

工研院綠能所(GEL/ITRI)

¹副工程師、²副研究員、³研究員、⁴資深研究員、⁵副組長

隨著固態照明技術日益成熟，新一代LED照明技術應走向高光品質與智慧化之利基市場，而高效率與創新性的封裝技術將可提高光源輸出品質並增加附加價值，本文即針對智慧光引擎封裝技術與分析進行介紹，包括了：螢光粉噴塗與旋鍍技術、封裝最佳化演算技術、微結構射出封裝技術、人因藍光可調模組以及高演色性色溫可調光引擎之核心技術能量與應用。目前持續推動相關技術的應用與發展，未來將更能節省產品研發之時間與人力成本，期盼為LED產業注入更多元之研發能量，以因應未來高品質與高附加價值之照明需求。

As the LED industry has gradually matured, the demand for higher lighting quality has become even stronger. New-generation lighting technology should be directed toward high-quality and smart applications. This research project, focusing on developing smart LED light engines, was supported by the Bureau of Energy, Ministry of Economic Affairs. The package technology for the smart LED light engine, including the conformal phosphor coating with pulsed spray, LED injection molding packages, human-centric lighting module, and color-tunable light engine with high CRI, are proposed in this article. Moreover, optimization technology for the LED phosphor model was also introduced to reduce the costs. Finally, the concept of the smart LED light engine will be realized using these technologies in the near future.

關鍵詞/Key Words

LED光引擎(LED Light Engine)、螢光粉模型最佳化(Optimized Phosphor Model)、高效率封裝(High Efficiency Package)、射出封裝(Injection Molding)

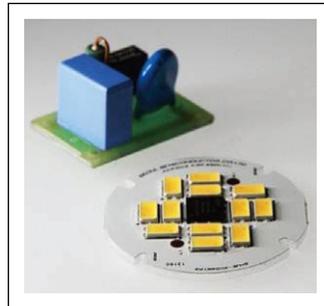
前言

LED光引擎將光源與驅動電路同時整合於單一基板上，其優點是減少成本與組裝步驟，目前發展除了持续提升LED光源封裝效率，同時朝向整合物聯網系統與智慧化調控的方向邁進。由於LED

光引擎必須整合光源與驅動技術，甚至必須考慮光源封裝與驅動電路設計及上件的製程問題，因此在發展初期較少廠商投入。在政府的經費補助下，本計畫持續投入智慧光引擎的技術開發，已陸續發表相關光引擎技術(圖一)，而其他國家也有相關的產品逐漸問世，例如：韓國廠商的



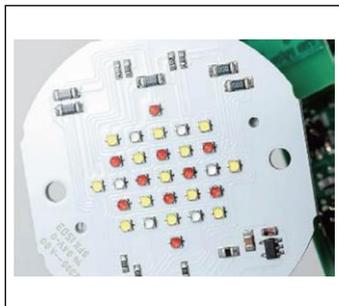
▲圖一 工研院開發的交流輸入高演色性光引擎



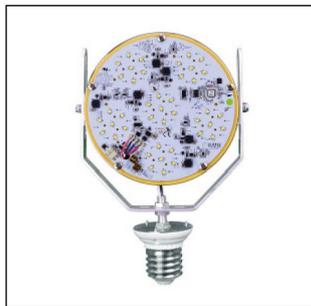
▲圖二 韓國廠商開發的交流輸入光引擎⁽²⁾



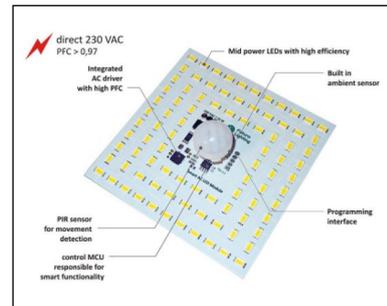
▲圖三 台灣廠商的COB光引擎⁽³⁾



▲圖四 奧地利公司的人因照明光引擎⁽⁴⁾



▲圖五 美國廠商所開發的道路照明HID替換光引擎模組⁽⁵⁾



▲圖六 斯洛伐克整合PIR感測器的光引擎⁽⁶⁾

Acrich系列(圖二)、國內LED大廠開發的COB(Chip on Board)光引擎模組(圖三)。除了一般照明應用之外，國際上也逐漸投入健康人因照明與特殊應用的光引擎模組技術開發，例如：奧地利公司的人因照明光引擎(圖四)、美國廠商的道路HID照明替換光引擎模組(圖五)、斯洛伐克公司整合PIR(Passive Infrared Sensor)感測器的光引擎模組(圖六)。

本計畫團隊擁有光源封裝、光學設計與智慧電控的相關人才，於LED封裝與智慧調控已建立完整技術能量。根據美國能源部(Department of Energy; DOE)所公布的封裝效率指標(如表一)，本計畫所開發之光

引擎技術已優於預期指標達到直流輸入下184 lm/W的發光效率。未來的提升方向，可持續針對晶片端光電轉換效率(Wall Plug Efficiency; WPE)、光學封裝效率(Package Efficiency)與螢光粉塗佈方式等方向著手進行，持續朝2020年指標邁進。

本文將介紹本計畫發展的智慧光引擎關鍵技術，包含了螢光粉模型建立與最佳化的應用、螢光粉噴塗技術、射出封裝技術、藍光可調模組、高演色性色溫可調光引擎、軟性面光源光引擎等項目。隨著物聯網技術的快速崛起，加上智慧載具的普及，相信智慧光引擎模組的市場將逐漸擴大。

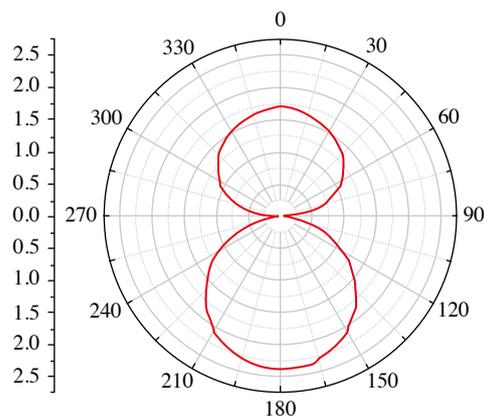
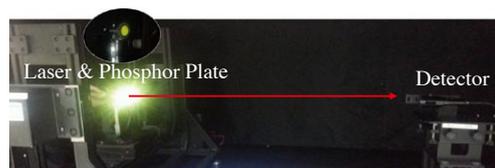
▼表一 LED各級效率分析與美國能源部DOE Road Map比較表

Package Level	Unit	2015 (2015年公布)	2020 (2015年公布)	ITRI 2015
Blue Chip-package	WPE	57%	75%	67%
YAG Phosphor	CE	80%	83%	79%
Blue Chip + 1 st Optical Lens + YAG Phosphor	η_p	85%	99%	90%
LER	lm/W	368	392	387
White LED Efficacy	lm/W	142	242	184
2 nd Optical Efficiency	%	87%	94%	94%

螢光粉模型最佳化與製程精準 調控技術

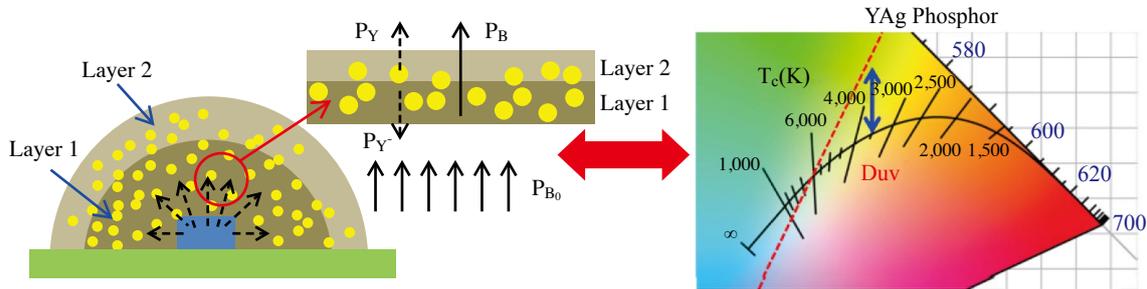
螢光粉模型最佳化與高精準製程參數調控技術是以螢光粉模型為基礎，並且搭配雙向散射(BSDF)量測(圖七)與封裝參數最佳化演算法，以達到精準預測封裝效果，藉由這樣的技術可以在製造前即可預測封裝的光輸出品質，減少不必要的測試時間與成本。對於螢光粉封裝模型目前已有相當多的研究，如：美國LRC團隊、中央大學光電所團隊，過去的模擬方式是根據實驗結果將模擬參數進行擬合，以得到與實驗相符之最佳模擬參數。而本計畫所開發之螢光粉最佳化模型目標是在實驗前快速預測封裝效果與配方，以達到光輸出品質的控制目標，不但能有效節省產品研發之時間與人力成本，更可開闢新一代LED封裝製程技術流程。

對於PC-LED光引擎封裝來說，其封裝的目的，主要為輸出光品質的調控、LED晶片保護與取光效率提升等等，因此封裝的參數包括LED晶片選用、螢光粉與膠材特性、螢光粉塗佈製程、封裝形式與尺寸等，都會影響到最終光引擎封裝的輸出效果。為了預先控制封裝品質，必須針對這些參數進行分析，以得到最佳化的封裝效

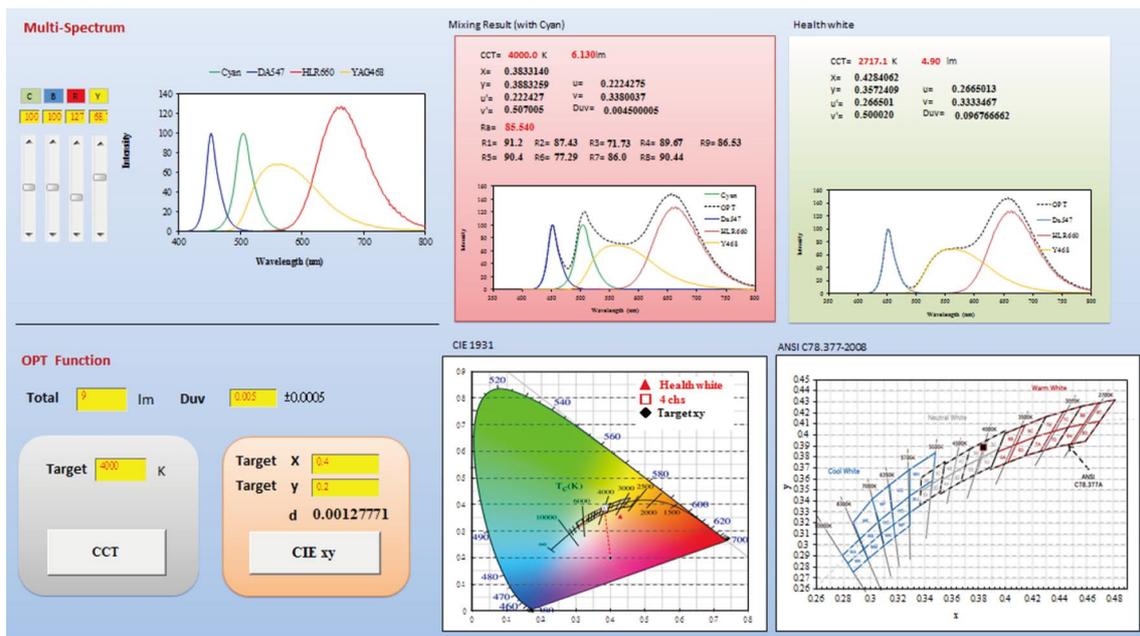


▲圖七 螢光粉散射量測機台與雙向螢光粉散射分布

果。本計畫整合多變數最佳化的演算技術，並且搭配實際製程結果，開發一系列的封裝與光輸出頻譜調控演算工具，除了單一光源封裝分析與最佳化之外(圖八)，另外還包含了多色螢光粉封裝(圖九)、多晶封裝光引擎之輸出光品質分析與最佳化工具(圖十)。目前仍持續擴充相關演算模組，可滿足不同應用領域的封裝光品質控制需求。



▲圖八 以最佳化演算進行多層封裝輸出品質分析



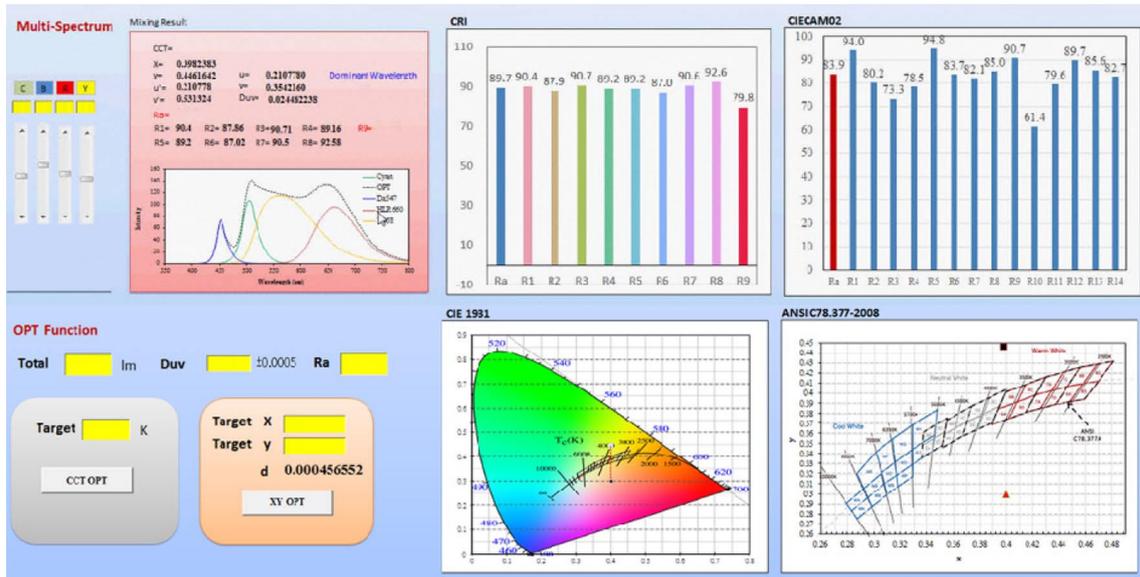
▲圖九 多色螢光粉封裝光引擎分析 (彩圖請見材料世界網<http://www.materialsnet.com.tw>)

另一方面本技術也透過光學軟體使用 Monte Carlo法，以光線追跡建立螢光粉資料庫，進一步搭配工研院自行開發之高擴充性多變數演算法，可根據內建螢光粉資料庫提供針對頻譜色溫、色座標偏差Duv、演色性、光通量等最佳化目標，提供封裝製程參數優化建議(圖十一)。此高擴充性螢光粉封裝最佳化演算技術，可有效節省未來量產製程之人力、材料與時間等研究成本。

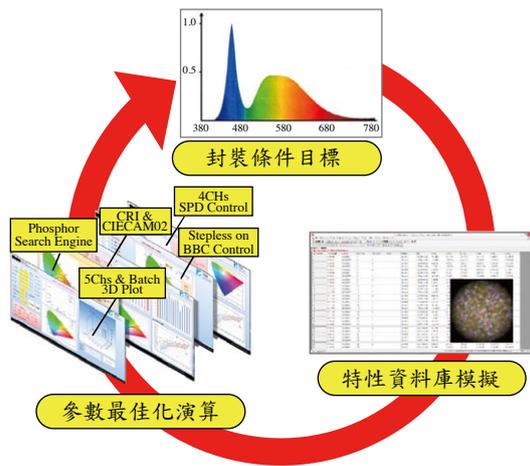
特殊情境封裝技術與應用

1. 高效率封裝技術

本技術開發高效率光引擎為使用低壓垂直式LED晶片，透過脈衝式螢光粉塗佈技術，可精準噴塗厚度均勻之螢光粉層於藍光晶片上，為兼顧效率及色座標點，本研究噴塗方法，根據及時回授之頻譜量測結果，進行螢光粉噴塗厚度控制。最終

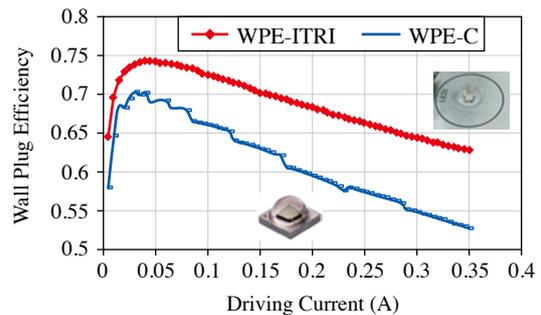


▲圖十 多晶封裝光引擎光輸出品質分析 (彩圖請見材料世界網<http://www.materialsnet.com.tw>)



▲圖十一 LED封裝光輸出最佳化演算

經由檢測實驗室量測結果驗證，於交流電 AC110V輸入下效率達144.7 lm/W、直流輸入光引擎模組效率為182 lm/W，已達到美國能源部DOE 2015指標。另一方面本研究亦透過透明矽膠封裝條件最佳化，將C牌大廠之晶片以COB Molding形式封裝成藍光LED，WPE最高提升至0.75 (圖十二)，

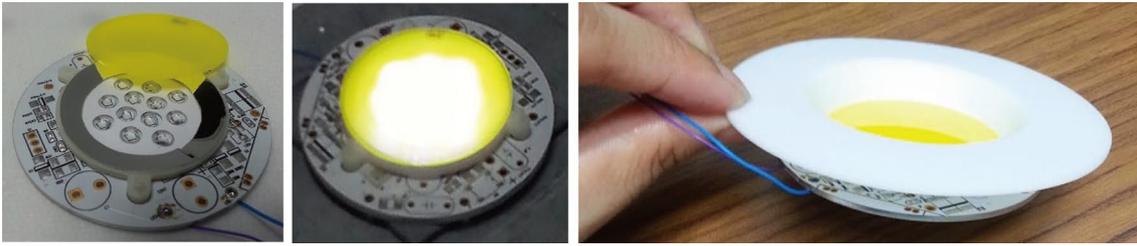


▲圖十二 高效率COB LED封裝比較圖

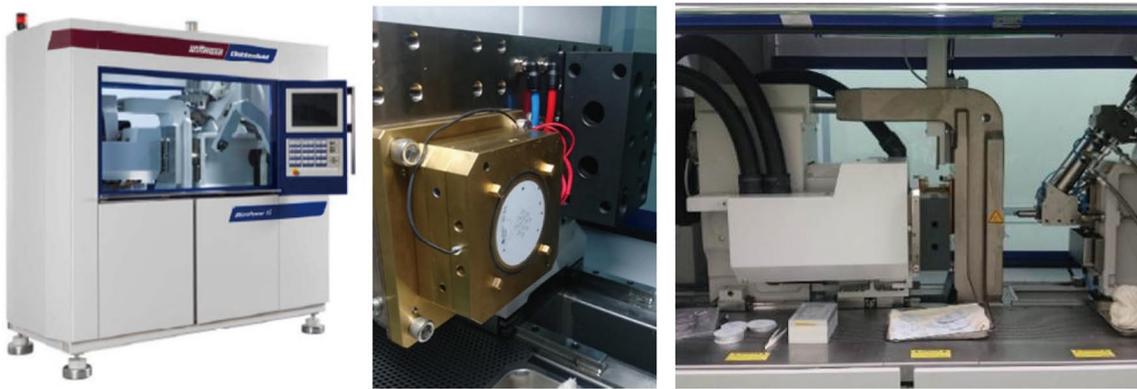
與市售C牌大廠之藍光LED進行效能實測比較，WPE最佳值約高於4%，使用於相同遠程螢光粉(Remoted Phosphor)封裝架構下，將具有較優異的白光效率。本研究發展之遠程螢光粉技術 (圖十三)，目前最佳效率已達186 lm/w。

2. 射出封裝技術

為了突破現有製程並創造差異化的封裝技術，本計畫投入反應式射出成型技術



▲圖十三 高效率Remote Phosphor LED封裝架構



▲圖十四 微量射出機與射出封裝模具架設

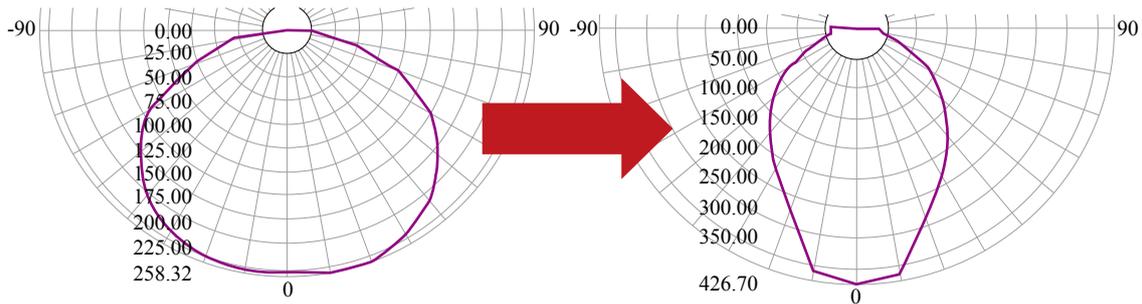
(Reaction Injection Molding; RIM)，並搭配全電式微量射出機，進行微結構射出封裝(圖十四)的技術開發。反應射出技術是將兩種溶液以特定比例，在射出前注入靜態混合器中混合產生化學反應，當混合的基材黏度仍低時，以低壓射入成型腔內進行高分子聚合反應而硬化，其硬化條件需要依據膠材特性進行設定，相關條件需要考慮模具流道設計、膠材特性與射出機台規格。本計畫所使用的全電式微量射出機，單次最低射出量為4g，搭配光學級模仁與模具流道設計，完成了射出封裝光引擎的製程技術開發(圖十五)，未來可因應廠商光學需求進行不同模仁結構設計(圖十六)，對於多樣化封裝角度有需求的廠商，可以藉由整廠技術輸出，快速導入量產。

3. 藍光可調照明模組

隨著照明技術的發展，照明技術的附加價值將逐步受到重視，根據德國電機暨電子產業公會(ZVEI)所做的照明市場分析資料可知，在健康照明的部分尤其具有相當大的市場發展潛力。照明對於人的影響相當的多，除了在視覺上的影響，在非視覺上的影響同樣相當的大，例如：情緒感受、覺醒程度、放鬆程度、認知能力、睡眠週期等，因此照明品質對於人因需求控制將會是未來發展的重點。由於PC-LED的白光產生方式，使得藍光危害的議題受到重視，但其實在國外的研究中亦發現睡前適當的藍光照明，對於睡眠品質亦會有改善的效果，因此本計畫以藍光調控作為光

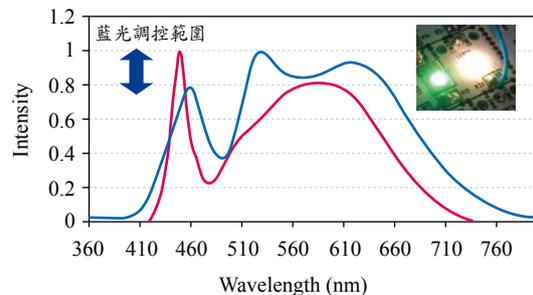


▲圖十五 反應式射出封裝光引擎測試



▲圖十六 射出封裝光型量測

引擎的封裝方向之一，開發在4,000K輸出下具有20%的藍光比例調控模組(圖十七)，可搭配多通道的驅動控制技術，使得使用者在無感受差異下，接收到不同比例的藍光，以達到特定的效果，未來可依據不同的人因或是光療頻譜需要，進行不同的人因照明LED光引擎開發。



▲圖十七 藍光可調照明模組

4. 高演色性可調色溫LED

本計畫所開發的高演色性色溫可調智慧高壓光引擎(圖十八)，以我國HV LED藍光晶片搭配自成形LED點膠製程，透過兩款高演色性螢光粉配方，分別調製出高演色性黃光(CCT: 2,750K, Ra: 97.24)與白光(CCT: 6,035K, Ra: 96.99)頻譜，如圖

十九(a)，搭配雙通道高壓驅動晶片，單一驅動高壓晶片採用700V、0.5 μm製程IC，採用交流直接驅動的線性式分段架構，並支援0到1V的類比調光，可同時驅動兩組高壓LED晶片，實際的操作波形如圖廿所

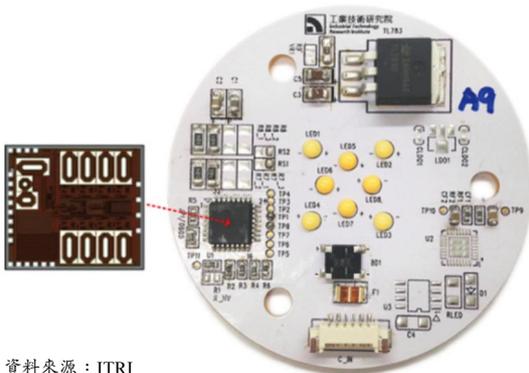


示，其輸入電壓與輸入電流幾乎沒有相位差距，因此可以獲得極高的功率因數(PF)和極低的電流諧波失真(THD)，分別為0.997和7.5%。圖廿一展示了光引擎的類比調光功能，若讓兩串的LED電流分別約為14 mA，此時光引擎可以發出約4,000K的白光，當兩組類比調光訊號皆為1V輸入時，將可以得到最大的輸入功率約12W。其雙通道調光功能可達成白光色溫可調2,700K~7,000K與全域高演色性>90之目標，如圖十九(b)所示。

5. 軟性LED光引擎模組

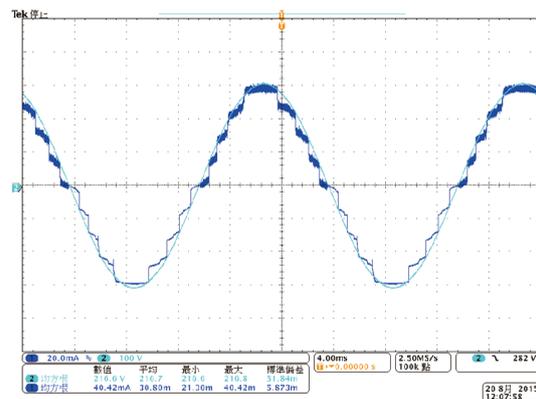
為了因應未來節能與創新照明的需

求，可彎折的軟性面光源技術為其深具潛力的技術發展目標。LED軟性面光源技術是由LED光源與軟性基板結合而成。考慮光源尺寸與製程良率，本研究導入了晶片級封裝(Chip Scale Package; CSP)的LED光源進行軟性LED面光源光引擎開發。本研究採用CSP封裝的LED，具有小體積(1.0 mm × 0.8 mm × 0.75 mm)與免打線的優點，相對其他封裝型態，CSP封裝對於撓曲程度影響較低。完成光源上件之後，同時在軟性基板上整合驅動IC電路與撓性光學元件製作，完成交流輸入下的軟性面光源光引擎模組(圖廿二)，該研究成果獲得台灣照明學會

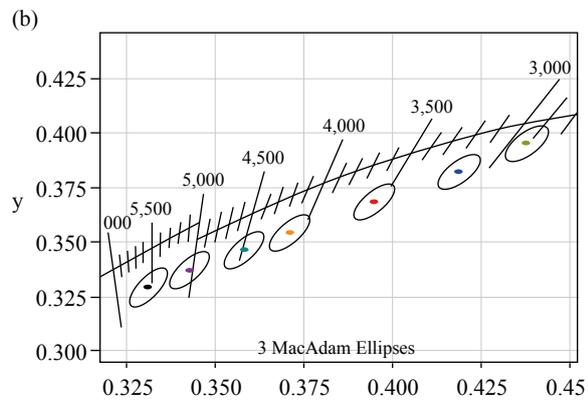
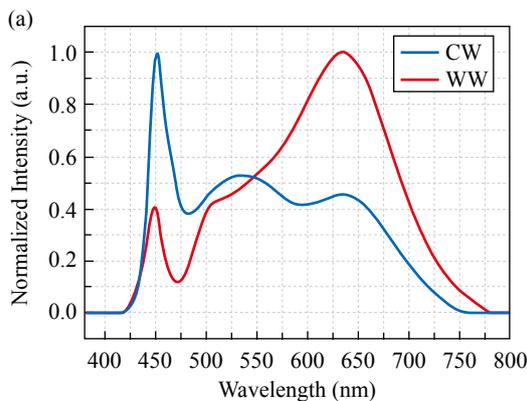


資料來源：ITRI

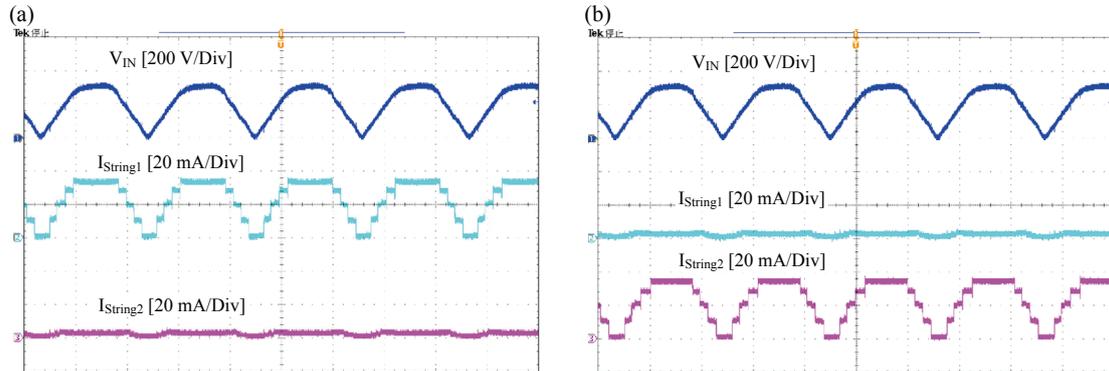
▲圖十八 色溫可調智慧高壓光引擎實體



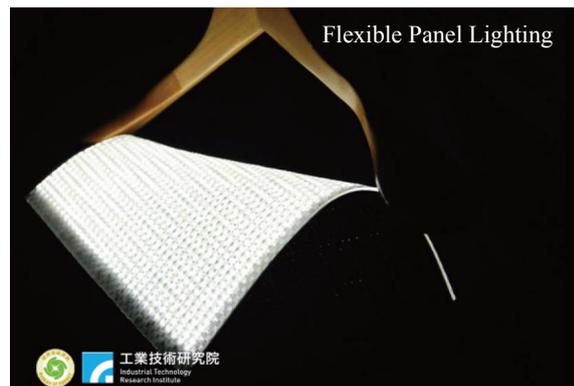
▲圖廿 輸入電壓與電流波形圖@7W Input Power



▲圖十九 (a)ITRI高演色性白光光源封裝；(b)高演色性光譜調控2,700K~7,000K



▲圖廿一 (a)調光功能：1V_{Dim1}和0V_{Dim2}；(b)調光功能：0V_{Dim1}和1V_{Dim2}



▲圖廿二 以CSP封裝光源所開發之軟性LED光引擎模組

FY104照明金質獎的肯定。在照明產品的開發上，搭配適當封裝型態的光源，除可維持高效率輸出，未來亦可整合智慧電控於軟板之上，達到高效率智慧化軟性LED光引擎，以符合物聯網的需求。

結 論

隨著科技日益進步，人們對於照明光品質的要求也逐漸升高。本計畫率先投入智慧光引擎開發並逐漸展現成果，於本文中介紹了相關的光引擎封裝技術，涵蓋了最佳化演算技術、高效率封裝、高演色性

封裝、射出封裝技術與藍光人因照明模組與軟性面光源光引擎等應用。藉由相關封裝技術的開發，不但有效節省人力與研發資源，更創造多元LED封裝應用之可能性，以因應未來高品質、高附加價值與人因感知等多樣性之固態照明需求，為LED照明產業注入新契機。

誌 謝

本研究承蒙經濟部能源局105年度研究計畫「LED照明與系統節能技術研發」計畫支持。



參考文獻

1. DOE, "Solid-State Lighting R&D Plan." 2015.
2. Seoul Semiconductor Acrich LED (<http://www.seoulsemicon.com>)
3. Lextar COB Led Light Engine (<http://www.lextar.com/>)
4. Lumitech (<http://www.lumitech.at/>)
5. Global Tech LED (<http://globaltechled.com/>)
6. FuturoLighting (<http://www.fulit.eu/>)
7. 林志偉、徐可芳、黃忠民, "LED軟性面光源發展與應用", 工業材料, 329期, 2014。
8. 徐可芳、林志偉、黃忠民, 軟性面光源微結構設計技術「Optics & Photonics Taiwan, the International Conference (OPTIC)」, (OPTIC 2014), pp.P0803-P005, 20141204
9. 林志偉、徐可芳、黃忠民、李麗玲、吳擇序、楊順益, "軟性LED面光源發展與光學設計", 台灣照明學會年會暨學術研討會, 2015。
10. N. Narendran, Y. Zhu, and Y. Gu, "Investigation of the optical properties of YAG:Ce phosphor</title></title>," 2006, p. 63370S-63370S-8.
11. C. Sommer, F. P. Wenzl, P. Hartmann, P. Pachler, M. Schweighart, and G. Leising, "Tailoring of the Color Conversion Elements in Phosphor-Converted High-Power LEDs by Optical Simulations," IEEE Photonics Technol. Lett., vol. 20, no. 9, pp. 739-741, May 2008.
12. C.-C. Sun, C.-Y. Chen, H.-Y. He, C.-C. Chen, W.-T. Chien, T.-X. Lee, and T.-H. Yang, "Precise optical modeling for silicate-based white LEDs," Opt. Express, vol. 16, no. 24, pp. 20060-20066, Nov. 2008.
13. Z.-Y. Liu, S. Liu, K. Wang, and X.-B. Luo, "Studies on Optical Consistency of White LEDs Affected by Phosphor Thickness and Concentration Using Optical Simulation," IEEE Trans. Compon. Packag. Technol., vol. 33, no. 4, pp. 680-687, Dec. 2010.
14. Chih-Wei Lin, Ke-Fang Hsu, Jung-Min Hwang, "Phosphor-Layer Design Optimization for an LED Package by the Generalized Reduced Gradient Method", Conference: Optics & Photonics Taiwan, the International Conference (OPTIC) 2014, (DOI: 10.13140/2.1.1216.0322)
15. Chih-Wei Lin, Ke-Fang Hsu, Jung-Min Hwang, "Specific Lighting Spectrum Matching by Normalized Correlation Coefficient and Generalized Reduced Gradient Method", The 9th IMPACT Conference, 2014. (DOI: 10.13140/2.1.2250.2727)
16. Chih-Wei Lin, Ke-Fang Hsu, Jung-Min Hwang, "Multi-Layer Phosphor LED with Minimize Color Difference to Black Body Curve Optimization by the Generalized Reduced Gradient Method", Annual Meeting of the Physical Society of Republic of China 2015, (DOI: 10.13140/2.1.3298.8485)
17. 林志偉、徐可芳、黃忠民、龔哲民、楊順益、吳擇序、李麗玲, "參數最佳化演算法於LED照明之應用", 工業材料, 342期, 2015。
18. 徐可芳、林志偉、黃忠民, 以GRG法建立螢光粉選用最佳化技術應用於LED點膠製程「International Conference on Numerical Simulation of Optoelectronic Devices (NUSOD)」, (15th), pp.91-92, 20150907
19. Human Centric Lighting, "Quantified benefits of Human Centric Lighting", Frankfurt, April 2015.
20. 林志偉、徐可芳、黃忠民、吳擇序、龔哲民、楊順益, "高齡化社會的照明商機", 照明季刊, 2015春季版, 2015。